



## Determination of potential roadway sections where noise barrier systems can be applied

Nesimi Özkurt<sup>1</sup>, Melike Neşe Tezel-Oğuz<sup>1\*</sup>, Deniz Sarı<sup>1</sup>, Samet Feyyaz Hamamcı<sup>1</sup>, Muhammet Erdöl<sup>1</sup>, Ece Gizem Çakmak<sup>1</sup>, Tuğba Doğan Güzel<sup>1</sup>, Yağmur Kabakcı<sup>1</sup>, Ömer Visali Sarıkaya<sup>1</sup>, Mehmet Emin Birpınar<sup>2</sup>, Eyyüp Karahan<sup>2</sup>, Gürsel Erul<sup>2</sup>, İrde Çetintürk Gürtepe<sup>2</sup>, Nuray Hüsmen<sup>2</sup>, Esin Türkel<sup>2</sup>, Füsün Gençer<sup>2</sup>

<sup>1</sup>TUBITAK Marmara Research Center, 41470, Gebze, Kocaeli, Türkiye

<sup>2</sup>Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change, 06510, Çankaya, Ankara, Türkiye

### Highlights:

- Determination of sections where road traffic noise limits are exceeded
- Hotspot analysis in road traffic exposure areas
- The approach for determining the road sections where barrier systems could be applied

### Keywords:

- Strategic noise map
- Road traffic noise
- Noise barrier system
- Noise reduction

### Article Info:

Research Article

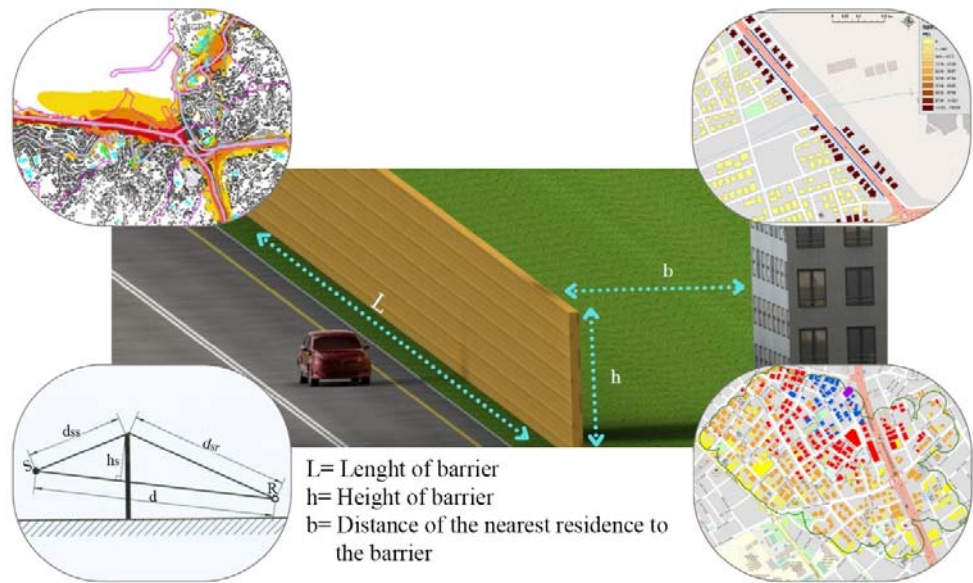
Received: 15.06.2022

Accepted: 20.05.2023

### DOI:

10.17341/gazimmfd.1127730

### Graphical/Tabular Abstract



**Figure A.** The approach for determining the sections where barrier systems could be applied

### Acknowledgement:

The authors thank the Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change and TUBITAK Marmara Research Center for their support of the study of this article.

### Correspondence:

Author: Melike Neşe Tezel-Oğuz  
e-mail: nese.tezel@tubitak.gov.tr  
phone: +90 262 677 2936

**Purpose:** The aim of this study is to determine the potential sections where the noise barrier system can be applied on the roads of 20 provinces with strategic noise maps.

**Theory and Methods:** In this study, an approach to determine appropriate road sections for noise barrier system design near roads has been developed. Strategic noise map results were evaluated, and sections exceeding the noise limit values were obtained. Appropriate road sections were determined by using the noise barrier's site selection criteria and affected population, assuming specific barrier properties in the mentioned sections (Figure A). The potential road sections where noise barrier systems can be applied were determined for 20 provinces in Turkey for which strategic noise maps were prepared.

**Results:** It has been determined that a noise barrier with a length of 26.7 km and a total surface area of noise barriers of 106.662 m<sup>2</sup> can be applied to approximately 24 km of the modeled 620 km major roads. When the calculation results were evaluated, Giresun, Yozgat, Yalova, Kars, and Kırıkkale were determined as the provinces with the highest rate of barrier applicable sections among the major roads modeled in 20 provinces. Kars and Yalova were the two provinces where the ratio of the population exposed to road traffic noise during the daytime to the total population was the highest (8%).

**Conclusion:** Noise barrier systems can be used to control road traffic noise on the way of noise propagation. This study determined potential road sections where noise barriers can be applied on the roads for which strategic noise maps were prepared in 20 provinces. It can be concluded that there are road sections where physical conditions are more suitable for noise barrier application in the provinces of Giresun, Yozgat, and Kırıkkale



## Karayollarında gürültü bariyer sistemleri uygulanabilir potansiyel kesitlerin belirlenmesi

Nesimi Özkurt<sup>1</sup>, Melike Neşe Tezel-Oğuz<sup>1\*</sup>, Deniz Sarı<sup>1</sup>, Samet Feyyaz Hamamcı<sup>1</sup>, Muhammet Erdöl<sup>1</sup>, Ece Gizem Çakmak<sup>1</sup>, Tuğba Doğan Güzel<sup>1</sup>, Yağmur Kabakcı<sup>1</sup>, Ömer Visali Sarıkaya<sup>1</sup>, Mehmet Emin Birpınar<sup>2</sup>, Eyyüp Karahan<sup>2</sup>, Gürsel Erul<sup>2</sup>,İRde Çetintürk Gürtepe<sup>2</sup>, Nuray Hüsmen<sup>2</sup>, Esin Türkel<sup>2</sup>, Füsün Gençer<sup>2</sup>

<sup>1</sup>TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, 41470, Gebze, Kocaeli, Türkiye

<sup>2</sup>Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 06510, Çankaya, Ankara, Türkiye

### ÖNEÇİKANLAR

- Karayolu gürültüsü sınır aşım kesitlerinin tespiti
- Karayolu etki alanlarında sıcak nokta analizi
- Bariyer sistemleri uygulanabilir kesitlerin belirlenmesi yaklaşımı

#### Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 15.06.2022

Kabul: 20.05.2023

#### DOI:

10.17341/gazimmfd.1127730

#### Anahtar Kelimeler:

Stratejik gürültü haritası,  
karayolu gürültüsü,  
gürültü bariyer sistemi,  
gürültü azaltımı

#### ÖZ

Günümüzde hızlı kentleşme ve beraberindeki nüfus artışları yerleşim alanlarında gürültü artışına neden olmaktadır. Yapılan değerlendirmelerle, kent yaşamında, ulaşım kaynaklı ana çevresel gürültü kaynağının karayolu gürültüsü olduğu ortaya konulmuştur. Karayolu gürültüsünü azaltmak ve olumsuz etkilerini önlemek amacıyla en etkin ve ekonomik yol kaynağa kontrolüdür. Ancak kaynağa denetimin yetersiz kaldığı durumlarda, kaynak ile alıcı arasında kullanılan gürültü önleyici engeller öne çıkmaktadır. Tüm dünyada karayolu kaynaklı gürültü düzeylerinin etkisinin azaltımı için farklı tasarım bileşenlerine sahip gürültü bariyer sistemleri kullanılmaktadır. Karayollarında gürültü kontrolünü sağlamak üzere bariyer sistemlerinin geliştirilmesi öncesinde uygun kesitlerin belirlenmesi gerekmektedir. Kabul edilebilir gürültü seviyelerinin aşıldığı alanlar ve bu alanlardaki karayolu kesitleri stratejik gürültü haritalama çalışmasıyla tespit edilebilmektedir. Ancak, söz konusu kesitlere bariyer uygulanması için sınır aşım alanları içerisinde farklı kriterler de değerlendirilmelidir. Bu çalışma kapsamında, Türkiye’de stratejik gürültü haritası hazırlanmış 20 il için karayollarında gürültü bariyer sistemi uygulanabilir potansiyel kesitler belirlenmiştir. Bu kesitler belirlenirken, stratejik gürültü haritalama çalışmaları kapsamında tespit edilen karayolu etki alanlarında sınır aşım değerlendirmelerinden ve gürültü modellemesi girdi verilerinden faydalanılmıştır. Modellenen 620 km ana karayolunun yaklaşık %3,9’una gürültü bariyeri uygulanabileceği tespit edilmiştir.

## Determination of potential roadway sections where noise barrier systems can be applied

### HIGHLIGHTS

- Determination of sections where road traffic noise limits are exceeded
- Hotspot analysis in road traffic exposure areas
- The approach for determining the road sections where barrier systems could be applied

#### Article Info

Research Article

Received: 15.06.2022

Accepted: 20.05.2023

#### DOI:

10.17341/gazimmfd.1127730

#### Keywords:

Strategic noise map,  
road traffic noise,  
noise barrier system,  
noise reduction

#### ABSTRACT

Today, rapid urbanization and accompanying population growth cause an increase in noise levels in residential areas. Noise source-based evaluations have revealed that the main environmental noise source originating from transportation in urban life is road traffic noise. The most efficient and economical way to reduce the adverse effects of road traffic noise is to control the noise at its source. If this implementation is insufficient, acoustic barriers are recommended to be applied between the source and the receiver. Noise barrier systems with different design components are used worldwide for road traffic noise reduction. Appropriate sections (lengths) should be determined before developing the barrier systems to ensure noise control on roads. The areas where acceptable noise levels are exceeded, and the road sections in these areas can be determined by strategic noise mapping. However, a range of criteria should be evaluated before applying barriers in noise-exposure areas. Within the scope of this study, potential road sections where noise barrier systems can be applied were determined for 20 provinces in Turkey for which strategic noise maps were prepared. While determining these sections, exposure exceedance assessments and noise modeling input data were used in the road impact areas determined within the scope of strategic noise mapping studies. It has been determined that noise barriers can be applied to approximately 3.9% of the modeled 620 km major roads.

\*Sorumlu Yazar / Yazarlar / Corresponding Author/Authors : nesimi.ozkurt@tubitak.gov.tr, \*nese.tezel@tubitak.gov.tr, deniz.sari@tubitak.gov.tr, feyyaz.hamamci@tubitak.gov.tr, muhammet.erdol@tubitak.gov.tr, gizem.cakmak@tubitak.gov.tr, tugba.dogan@tubitak.gov.tr, yagmur.kabakci@tubitak.gov.tr, omer.sarikaya@tubitak.gov.tr, by.okm@csb.gov.tr, eyyup.karahan@csb.gov.tr, gursel.erul@csb.gov.tr, irde.gurtepe@csb.gov.tr, nuray.husmen@csb.gov.tr, esin.turkel@csb.gov.tr, fusun.gencer@csb.gov.tr / Tel: +90 262 677 2936

## 1. Giriş (Introduction)

Yaşam standardının iyileştirilmesine paralel olarak şehir yaşamındaki gürültü kaynakları her geçen gün nicelik ve niteliksel olarak artmış, şehir sakinlerinin sağlığını etkileyen çevresel faktörlerden biri haline gelmiştir. Karayolu, demiryolu, havayolu ve deniz trafiği gürültüsü ulaşım kaynaklı gürültü olarak nitelenmekte, çeşitli ülkelerde yapılan etkilenme analizleri sonucunda maruziyetin en yüksek olduğu gürültü türleri olarak sınıflandırılmaktadır [1, 2]. Yapılan birçok çalışmada kaynak türlerinin ayrı ayrı rahatsızlık etkileri doz-etki ilişkisi baz alınarak değerlendirilmiştir [3-6]. Karayolu, demiryolu ve uçak gürültüsüne uzun süre maruziyet, uyku bozuklukları, stres ve kardiyovasküler hastalıklar gibi sağlık problemleriyle ilişkilendirilmektedir [7]. AB Çevresel Gürültü Direktifi kapsamındaki çalışmalar, karayolu gürültüsünün ulaşım kaynaklı çevresel gürültüyle ilgili ana gürültü kaynağı olduğunu göstermiş, gündüz zaman diliminde 90 milyon, gece zaman diliminde ise 50 milyon kişinin karayolu gürültüsünden etkilendiği belirlenmiştir. Avrupa Komisyonu Sağlık ve Sosyo-Ekonomik Etkiler Çalışma Grubu'nun yayımladığı bir rapora göre, insanları uyandırmaya yetecek büyüklükteki gürültü seviyesi demiryolu için 70 dB(A), karayolu için 58 dB(A), havayolu için 54 dB(A)'dır [8]. Avrupa Çevre Ajansı'nın 2020'de yayımladığı rapora göre çevresel gürültüye uzun süreli maruz kalmanın, Avrupa topraklarında her yıl 2.000 erken ölüme neden olduğu, 48.000 yeni iskemik kalp hastalığı vakasına katkıda bulunduğu tespit edilmiştir. Ayrıca çevresel gürültü sebebi ile 22 milyon kişinin kronik yüksek seviyede rahatsızlık yaşadığı, 6,5 milyon kişinin kronik yüksek uyku bozukluğu yaşadığı ve uçak gürültüsünün bir sonucu olarak, 12.500 okul çocuğunun okulda öğrenme bozukluğu yaşadığı tahmin edilmektedir [9].

Yapılan çalışmalarla gürültünün olumsuz etkileri maddi zarar şeklinde ifade edilebilmektedir. Avrupa Komisyonu'nun 1996 tarihli "Gelecekteki Gürültüden Korunma Politikası" adlı yeşil kitabında gürültünün Avrupa'da yol açtığı toplam zarar, ülke içi gayri safi üretimin % 0,2 - 2'si şeklinde tahmin edilmiştir. Bu sebeple gürültü azaltım önlemi maliyetine karşın sağlayacağı maddi faydaların öne çıkarılması yararlı olabilmektedir [10]. Avrupa çapındaki yük taşıma araçlarının emisyonlarının düşürülmesine yönelik önlemlerin en yüksek fayda-maliyet oranına sahip olduğu ortaya konmuştur [11]. Çevre ve insan sağlığı üzerine kirleticilerin etkilerinin belirlenmesi ve bu kirleticilerin zararlı etkilerinin önlenmesi veya azaltılmasına yönelik çok sayıda Avrupa Birliği direktifi ve yönetmelik bulunmaktadır. Bunlar arasında bulunan AB Çevresel Gürültü Direktifi'ne [12] uyumlu olacak şekilde ülkemiz mevzuatına aktarılan Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği (ÇGDYY) [13] kapsamında çevresel gürültüye maruz kalınması sonucu kişilerin sağlığının bozulmaması için gerekli tedbirlerin alınması, gürültüye maruz kalma seviyelerinin insan sağlığı üzerinde zararlı etkilere sebep olabileceği ifade edilmiş olup, gürültüyü önleme ve azaltmaya yönelik eylem planlarının hazırlanması hedeflenmiştir.

Şehir içi yollardaki trafik yoğunluğu, karayolu sınırına çok yakın ve yüksek yapıların yer alması karayolundan kaynaklanan gürültü seviyelerin yükselmesine yol açan faktörlerdir [14]. Karayolu gürültüsünün kaynağında çözümüne dair basit, tek bir teknik önlem mevcut değildir. Bu sebeple, genellikle karayolu gürültüsünün azaltımı için birbirine bağlı çeşitli önlemlerin uygulanması yaygındır [11]. Yapılan çalışmalar ile tespit edilen gürültülü alanlardaki çevresel gürültünün azaltılması amacıyla bariyer yapılarının inşa edilmesi bu önlemlerden biridir. Karayollarında gürültü kontrolünü sağlamak üzere bariyer sistemlerinin geliştirilmesi öncesinde uygun kesitlerin belirlenmesi gerekmektedir. Stratejik gürültü haritalama çalışmaları vasıtasıyla, kabul edilebilir gürültü seviyelerinin aşıldığı alanlar ve bu alanlardaki karayolu kesitleri tespit edilebilmektedir. Ancak, söz

konusu kesitlere bariyer uygulanması için sınır aşım alanları içerisinde farklı kriterler de değerlendirilmelidir. Yer seçimi, gürültüye duyarlı alıcıların konumuna göre yapılmalıdır. Potansiyel gürültüye duyarlı alanları belirlemek için arazi kullanım haritaları ve saha keşifleri kullanılmalıdır. Okullar, hastaneler ve gürültüye duyarlı yerleşim alanları gürültü etkisi değerlendirmesine dahil edilmelidir. Ayrıca potansiyel temsili sahalar seçilirken, sahanın çevresel koşulları, karayolu altyapısı vb. parametreler göz önünde bulundurulacak iyi bir mühendislik yaklaşımının kullanılması tavsiye edilir [15].

Literatürde gürültü bariyerlerinin uygulanması ile ilgili çeşitli el kitapları, mevcut gürültü bariyerlerinin gürültü azaltım performansı değerlendirmeleri vb. çalışmalar bulunmasına rağmen bir yerleşim yerinde gürültü sınır değerlerinin aşıldığı ve fiziken gürültü bariyeri uygulanabilir potansiyel kesitlerin bütüncül bir bakışla belirlendiği herhangi bir çalışmaya tarafımızca rastlanmamıştır. Bu çalışmada "Yerleşim Alanlarında Kaynak Bazlı Gürültü Seviyelerinin Hesaplanması Projesi" kapsamında stratejik gürültü haritası hazırlanmış 20 ilimiz için (Ağrı, Aksaray, Düzce, Çanakkale, Erzincan, Giresun, Isparta, Kars, Kastamonu, Kırıkkale, Kırklareli, Kırşehir, Nevşehir, Niğde, Osmaniye, Şırnak, Siirt, Yalova, Yozgat, Zonguldak) karayollarında gürültü bariyer sistemi uygulanabilir potansiyel kesitlerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bariyer uygulanabilecek öncelikli alanlar belirlenirken, stratejik gürültü haritaları kapsamında modelleme alanında yer alan bina cepyelerinde her bir referans zaman dilimi için hesaplanan gürültü düzeylerinden yararlanılmıştır. Bu binalardan sınır değerleri aşan seviyelerde gürültüye maruz kalanları tespit edilmiş, çalışma alanlarındaki karayolu gürültüsünden en çok etkilenen öncelikli alanlar belirlenmiştir. Diğer yandan, çeşitli yol genişlikleri (1, 2 ve 3 şeritli yol) için gürültü bariyerinin uygulanacağı alanda, yatayda bariyere 5 ila 200 m arasında değişen alıcılardaki teorik gürültü azaltım değerleri hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar ve literatürden edinilen bilgiler doğrultusunda bariyerin konumu ve uzunluğu için çeşitli kabuller yapılmıştır. Belirlenen öncelikli alanlar ile fiziki koşullar açısından bariyer yapımına uygun karayolu kesitleri kesleştirilmiş ve olası bariyer lokasyonları tespit edilmiştir. Bu çalışma kapsamındaki değerlendirmeler 2010 yılında yayınlanmış ÇGDYY'ne göre yapılmış olup, 30 Kasım 2022 tarihinde yönetmelik güncellenerek "Çevresel Gürültü Kontrol Yönetmeliği" ismi ile resmi gazetede yayınlanmıştır [16].

## 2. Teorik Metod (Theoretical Method)

### 2.1. Karayolu Gürültüsü Modelleme (Road Traffic Noise Modeling)

Avrupa Birliği üye ülkelerinde 100.000 ve üzeri nüfusa sahip yerleşim alanlarının stratejik gürültü haritasının hazırlanması gerekmektedir. Bahsi geçen alanlardaki gürültü seviyelerini ve maruziyetini tespit edebilmek amacı ile gürültü yayılımı hesaplama modelleri kullanılmaktadır [12]. Bu modellerde, çeşitli kaynaklardan yayılan gürültüyü hesaplamak için yapılan analizler kapsamında, yayılma (Topoğrafik etkiler, meteorolojik koşullar, vb.), yutulma (atmosferik yutulma, zemin etkisi, vb.) ve yansıma (binalardan yansıma vb.) faktörleri kullanılmaktadır [17]. Gürültü haritalama yöntemi, veri setlerinin oluşturulması (kaynak, bina, coğrafi veri tabanı, zemin etkisi vb.), belirlenen hesaplama alanında gürültü seviyelerinin hesaplanması, harita üzerinde gürültü konturlarının görselleştirilmesi ve gürültü maruziyeti sonuçlarının sayısallaştırılması adımlarını içermektedir [18].

Karayolu gürültüsü modellemesinde SoundPLAN yazılımı kullanılabilir. Birçok ülkede farklı karayolu gürültüsü standartları uygulanmaktadır. Söz konusu yazılımda hangi standardın

kullanılacağı seçilebilmektedir. Bir karayolunda açığa çıkan gürültü tüm standartlar tarafından geniş bir bant aralığı için hesaplanabilmektedir. Araçların lastik, motor, şanzıman ve egzoz gürültüleri birbirinden ayrı olarak değil, bütün halinde değerlendirilmektedir. Karayollarından kaynaklı çevresel gürültünün hesaplanması için Fransız ulusal hesaplama yöntemi olan NMPB Routes 96 uygulanabilmektedir. Yöntem kapsamında karayolundan kaynaklanan ses düzeyleri meteorolojik ve çevresel etmenler de dikkate alınarak belirlenir. NMPB standardında çizgisel kaynak olarak değerlendirilen karayolu gürültüsü artarda sıralanmış noktasal kaynaklar şeklinde hesaplanır. Aynı standartta karayolu malzeme tipleri "düz asfalt, gözenekli yüzey, beton yol veya kaplama taşı yol" olarak tanımlanabilmektedir [19]. Bu çalışma kapsamında SoundPLAN yazılımı ile standart hesaplama yöntemleri kullanılarak 20 ilin stratejik gürültü haritası oluşturulmuştur. SoundPLAN, 2002/49/EC sayılı Avrupa Direktifi'ne uygun olarak, gürültü haritalarının hızlı ve hassas bir biçimde hazırlanmasına uygun altyapıya sahip bir yazılımdır. Çalışma alanında yer alan karayollarının gürültü etkisinin hesaplanması için ÇGDYY'nin EK-II 1.1.3 maddesinde belirtildiği üzere NMPB Routes 96 yöntemi kullanılmış, bu standarda uygun girdiler için CETUR 1980 kılavuzundan faydalanılmıştır [13, 20].

## 2.2. Çalışma Alanı Karakteristikleri (Study Area Characteristics)

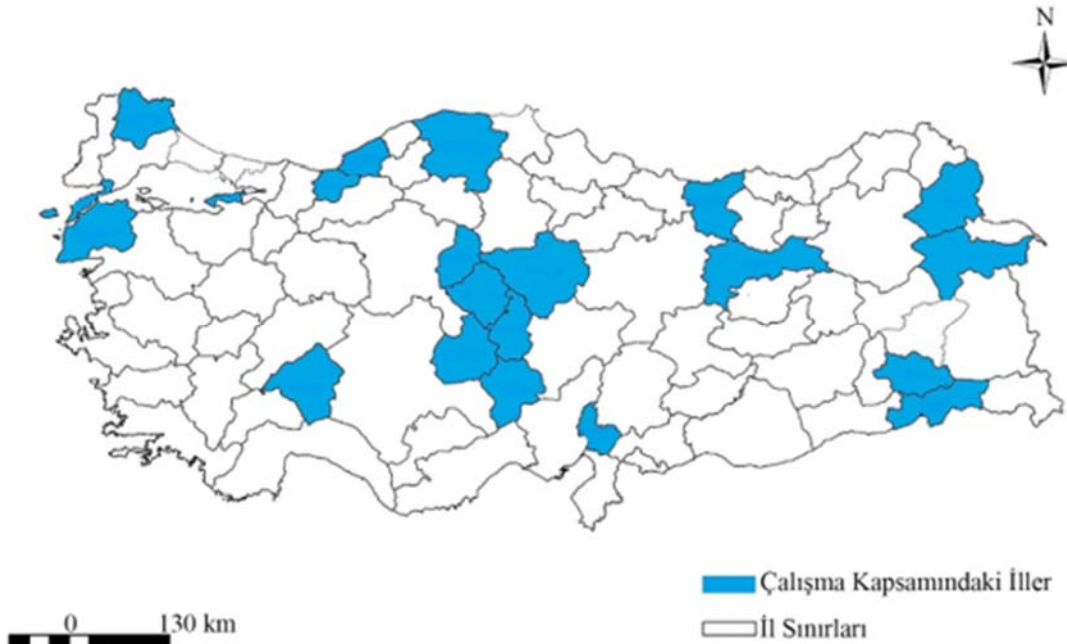
Türkiye genelinde 20 yerleşim alanının (Ağrı, Aksaray, Düzce, Çanakkale, Erzincan, Giresun, Isparta, Kars, Kastamonu, Kırıkkale, Kırklareli, Kırşehir, Nevşehir, Niğde, Osmaniye, Şırnak, Siirt, Yalova, Yozgat, Zonguldak) karayolu stratejik gürültü haritası 2021 yılında hazırlanmıştır. Karayollarında gürültü bariyer sistemi uygulanabilir potansiyel kesitlerin belirlenmesi çalışmasında değerlendirilen illerin konumları Şekil 1'deki haritada gösterilmiştir.

Elektronik ortamda 20 il belediyesinden tedarik edilen en güncel haritalarda bulunan koordinat ve arazi kotları kullanılarak coğrafi veri tabanı oluşturulmuştur. Ardından edinilen haritalardan bina koordinat, kullanım amacı, kat sayısı, binadaki daire sayısı, binada yaşayan nüfus ikinci veri seti olarak modele işlenmiştir. Modellemede ÇGDYY'nin "Stratejik Gürültü Haritalama Esas ve Kriterlerinde

belirtilen" "Yılda üç milyondan fazla aracın geçtiği ana karayolları" tanımına uyan karayolları ile 20 il belediye yetkilileri tarafından belirlenen yol kesitlerindeki araç sayıları kullanılmıştır. Günün üç zaman dilimini [Gündüz (07:00-19:00), Akşam (19:00-23:00) ve Gece (23:00-07:00)] temsil eden en yoğun saatlerde 1 saatlik taşıt sayımları yapılmış ve taşıt türüne (ağır ve hafif) göre sınıflandırılmıştır. 20 ilde, belirlenen yol kesitlerinde tüm zaman dilimlerinde yapılan saha çalışmaları sonucunda elde edilen saatlik taşıt sayım verileri ile yol malzemesi türü, trafik hızı bilgileri kullanılarak karayolu envanterleri oluşturulmuş, model girdi verisi olarak kullanılmıştır. Söz konusu iller için gürültü modeli veri setleriyle gürültü düzeyleri hesaplanmıştır. Karayolu stratejik gürültü haritasında kullanılan çalışma alanı model girdi verileri ise Tablo 1'de verilmiştir. Çalışma kapsamında 20 ilde toplam yaklaşık 3.5 milyon kişinin gürültüye maruziyeti değerlendirilmiş, 620 km uzunluğunda ana karayolu modellenmiştir.

## 2.3. Bariyer Sistemlerinin Yer Seçim Kriterleri (Site Selection Criteria of Barrier Systems)

Etkili bariyerlerin tasarımı için bir bariyerin sağladığı gürültü azaltımını yöneten akustik prensiplerin anlaşılması gereklidir. Karayolu ile bitişik alanlar arasında hiçbir engel bulunmadığında, ses, Şekil 2'de gösterildiği gibi, kaynaktan alıcılara doğrudan bir yolla gider (d). Kaynak ve alıcı arasına bir bariyerin yerleştirilmesi, ses enerjisini üç yola yeniden dağıtır: kırılma, bariyerden geçme ve yansıma. Bir gürültü bariyerinin tam etkisini doğru bir şekilde tanımlamak için, bu yolların her biri boyunca ses enerjisi dikkate alınmalı ve orijinal doğrudan yol (d) boyunca ses enerjisi ile karşılaştırılmalıdır [21]. Şekil 2'de kırınım temelli modellerde kullanılan temel geometrik parametreler gösterilmekte ve şu değişkenleri içermektedir; gürültü kaynağı, alıcı, kaynaktan engelin üstüne olan doğrudan mesafe ( $d_{ss}$ ), alıcıdan bariyerin üstüne doğrudan mesafe ( $d_{sr}$ ), kaynaktan alıcıya olan doğrudan mesafe (d). Bu çalışma kapsamında, belli kabullerle bir gürültü bariyerinin teorik gürültü azaltım değeri "TS-ISO 9613-2:2006 Akustik - Çevre gürültüsünün tarifi, ölçülmesi ve değerlendirilmesi - Bölüm 2: Çevre gürültü seviyelerinin tayini" standardına göre hesaplanmıştır [22]. Söz konusu hesaplama metodunda gürültü engeli uygulanması ile oluşan azalma



Şekil 1. Çalışma kapsamındaki illerin konumu (The location of the provinces within the scope of the study)

$D_z$  ile ifade edilmektedir. Eş. 1'e göre engel azalmasını hesaplamak için, ses kaynağından alıcıya doğru sadece tek önemli ses yayılma yolunun bulunduğu kabul edilir.

$$D_z = 10 \log [3 + (C_2/\lambda)C_3zK_{met}] \quad (1)$$

Burada;  $C_2$  zemin yansımalarının etkisini içerir ve 20'ye eşittir,  $C_3$  tek kırılma için 1'e eşittir,  $\lambda$  oktav bandın anma merkez bant frekansındaki sesin dalga boyu,  $z$  kırılmış ve direk olarak yayılan seslerin yol uzunlukları arasındaki fark,  $K_{met}$  meteorolojik etkilerin düzeltme faktörü olarak tanımlanmıştır [22]. Kullanılan yol uzunluk farkı "z" ise aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır. Eşitlikte temsil edilen uzaklıklar Şekil 2'de gösterilmektedir (a, kaynak ve alıcı arasındaki engel kenarına paralel olan bileşen mesafesidir).

$$z = [(d_{ss} + d_{sr})^2 + a^2]^{1/2} - d \quad (2)$$

$$K_{met} = \exp[-(1/2000) \sqrt{d_{ss}d_{sr}d/(2z)}] \quad z > 0 \text{ için} \quad (3)$$

$$K_{met} = 1 \quad z \leq 0 \text{ için} \quad (4)$$

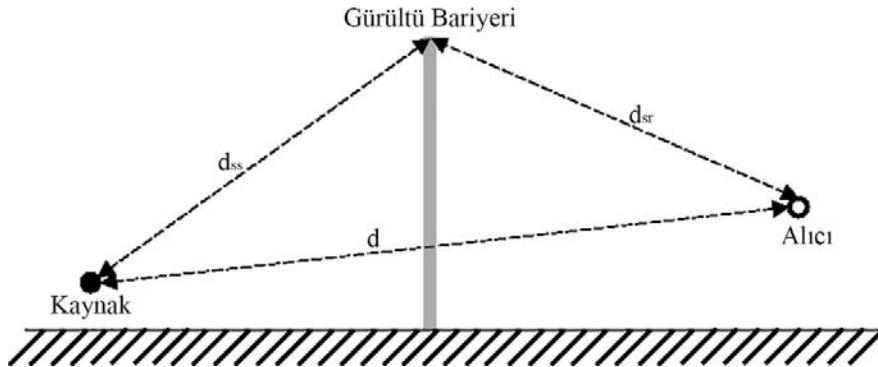
Karayolu gürültü bariyerlerinin sesi nasıl azalttığını tam olarak anlamak için sesin bazı özelliklerini anlamak gerekir. Ses, tipik olarak

iki ana özellik açısından karakterize edilir: frekans ve yoğunluk. İnsan işitme aralığı yaklaşık 20 Hz ile 20.000 Hz'dir. Arabalar 20 ile 2.000 Hz aralığında gürültü üretir. Kamyonlar 10 ile 1.000 Hz aralığında gürültü üretir. Her iki durumda da, tipik sesin yaklaşık 125 Hz'de geniş bir tepe noktası vardır, ancak bu sayı yanıltıcıdır çünkü insanların sesleri duyma yeteneği, duyulabilir frekans aralığı boyunca tek tip değildir. İşitme sistemimiz tarafından sesin eğrilmesinin bir sonucu olarak, tipik araba ve kamyon gürültüsü yaklaşık 500 Hz'de geniş bir algisal tepe noktasına sahiptir [23]. Çalışma kapsamında, çeşitli yol genişlikleri için gürültü bariyerinin uygulanacağı alanda, alıcıdaki teorik gürültü azaltım değerleri uzaklığa bağlı olarak hesaplanmış, yapılan hesaplamalarda 500 Hz için bulunan sonuçlar değerlendirilmiştir.

Bir bariyerin uygulanabilirliğine çeşitli kriterleri karşılamasına göre karar verilmektedir. Öncelikle kaynağa en yakın konumda bulunan alıcıların çoğunda en az 5 dBA'lık bir azalma sağlanması genel kabul görmüş bir kriterdir. Bununla birlikte, uygulama sahasında yer alabilecek farklı altyapı tesisatları (elektrik, doğalgaz, telefon vb.) ile uyumluluğu önemlidir. Ayrıca, fayda-maliyet analizinde, bariyerin maliyetinin oluşturacağı fayda göz önüne alındığında, bariyer maliyetinin kabul edilebilir olması da uygulanabilirlik kriterleri arasındadır [24]. Bu çalışmada, gürültü bariyer sistemleri

**Tablo 1.** Stratejik gürültü haritası hazırlamada kullanılan çalışma alanı model girdi verileri (Model input data used in strategic noise map preparation in the study area)

İl Adı	Ana Karayolu (km)	Modellenen Toplam Nüfus	Modellenen Konut Sayısı	Modellenen Okul Sayısı	Modellenen Hastane Sayısı
Ağrı	32,0	119.229	29.722	246	29
Aksaray	44,0	239.001	48.477	350	44
Çanakkale	88,5	170.100	42.800	147	24
Düzce	29,0	184.040	50.162	310	16
Erzincan	28,4	145.859	29.800	281	63
Giresun	16,0	120.186	39.616	92	29
Isparta	49,0	240.723	56.764	166	24
Kars	7,5	90.523	18.397	150	6
Kastamonu	20,8	124.018	28.950	130	26
Kırıkkale	35,9	205.056	31.853	177	35
Kırklareli	22,4	202.519	56.961	194	36
Kırşehir	25,4	146.242	35.671	170	21
Nevşehir	30,0	121.600	30.000	87	7
Niğde	36,6	161.110	24.100	172	27
Osmaniye	39,0	341.159	91.213	286	31
Siirt	10,0	157.714	31.531	127	6
Şırnak	23,4	192.597	24.100	116	4
Yalova	21,0	166.625	42.700	134	28
Yozgat	18,0	90.206	17.300	120	13
Zonguldak	44,0	284.666	77.500	255	15



**Şekil 2.** Geometrik parametrelerin tanımı (Definition of geometric parameters)

uygulanabilir potansiyel kesitler belirlenirken yapılan kabulleri gösteren akış şeması Şekil 3'te sunulmuş, detayları ilerleyen başlıklarda açıklanmıştır. Gürültü haritası sonuçları belirlenen kabuller çerçevesinde ArcGIS coğrafi bilgi sistemleri yazılımında işlenmiş ve çıktılar elde edilmiştir.

### 2.3.1. Bariyerin konumu (Location of the barrier)

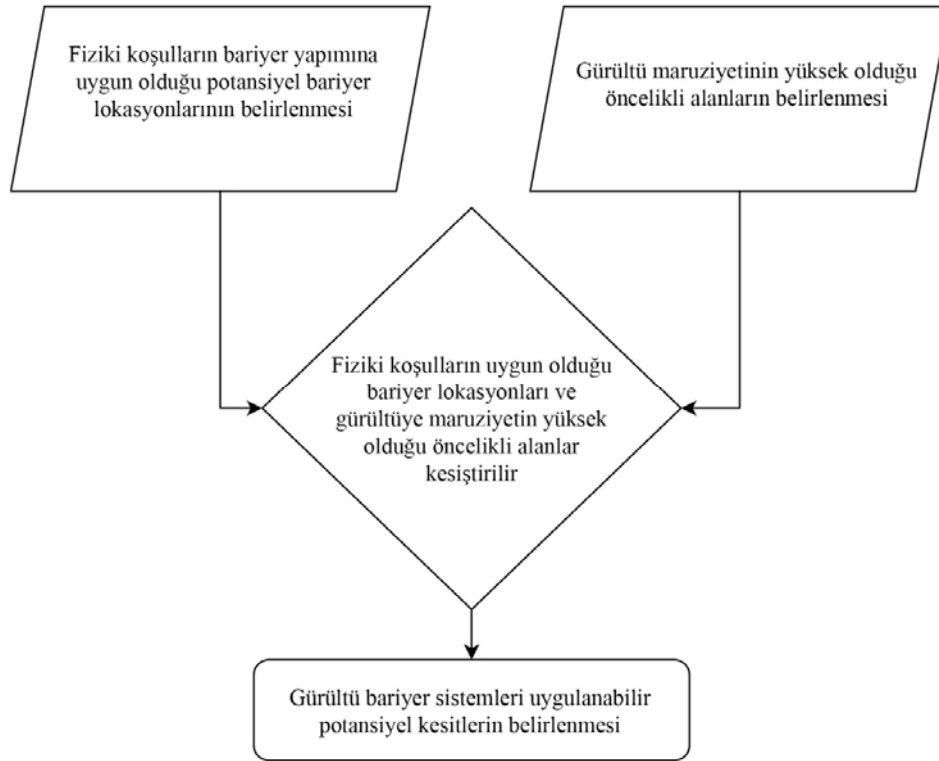
Gürültü bariyerinden optimum performansı elde etmek için genel bir kural, onu gürültü kaynağına, yani karayoluna, demiryoluna ve endüstriyel tesislere mümkün olduğunca yakın yerleştirmektir. Bu tavsiye, yalnızca yolun, yol ile aynı veya alıcıdan daha yüksek seviyede olduğu durumlarda geçerlidir. Yol alıcı seviyesinin altında olduğunda, bariyer yol kenarı yerine tepenin üstüne yerleştirilebilir. Bariyerin performansını artırma çözümlerinden biri bariyerin yüksekliğini artırmaktır ancak bu durum statik problemlere neden olabileceği gibi yakınında yer alan bina sakinleri için de; görsel engel teşkil etmesi nedeniyle büyük memnuniyetsizliğe neden olabilir. Çok şeritli bölünmüş yol kenarlarına yapılacak bariyerlerde, bariyerden yansımaları önlemek için çözüm, tercihen yol boyunca yol kenarındaki bariyerlerden daha alçakta olan orta refüjde bir gürültü bariyeri oluşturmak olabilir. Bir gürültü bariyeri çeşitli nedenlerle farklı konumlara yerleştirilebilir [25]. Bu konular;

- Yol boyunca gürültü bariyeri yola minimum mesafede, örneğin çok şeritli yollarda dış şeridin merkezinden yaklaşık 7,5 m mesafede, olabilir
- Güvenlik bariyerine entegre edilmiş gürültü bariyeri olabilir
- Yola çok yakın konumda (yol kenarından yaklaşık 0,6 m uzaklıkta) gürültü bariyeri, ayrıca bir güvenlik bariyeri ile entegre de olabilir
- Orta refüjde yutucu malzemeden gürültü bariyeri olabilir

Yapılan çalışmalar gürültüyü azaltmanın en etkili yolunun yutucu malzemelerden inşa edilmiş bariyerlerin olduğunu, yolun iki ayrı

yönlü şeritleri arasında gürültü azaltıcı bir engel olması gerektiğini göstermiştir [25]. Bir gürültü bariyerinin etkinliği, alıcı ile bariyer arasındaki mesafeye bağlıdır. Doğrudan bir bariyerin arkasında bulunan konutlar için gürültü seviyesi genellikle yarıya indirilecektir. Bu fayda, alıcı uzaklaştıkça azalır yaklaşık 150 m'den daha büyük mesafelerde ihmal edilebilir. Karayolu bağlantıları veya kesişen sokaklar için gürültü duvarlarındaki açıklıklar gürültü azaltım etkinliğini olumsuz yönde etkilemektedir [24].

Haron ve Jamaludin bir okulda yoğun trafik gürültüsünden korumak için kurulan gürültü bariyerinin etkinliğini araştırmıştır. Bariyer, ana gürültü kaynağı olan karayoluna 17 m mesafede, 4 m yüksekliğinde, 0,25 m kalınlığında ve 132 m uzunluğunda yutucu malzemelerle dolgulı elyaf takviyeli beton panellerden yapılmıştır. Alıcının, bariyerin 3,5 m'den daha fazla mesafede olması durumunda, 5 dBA veya daha fazla gürültü azaltımı sağladığı belirlenmiştir. Ancak, 6 m mesafede, bariyer etkili kabul edilmesine rağmen, ses basınç seviyesini Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) okul alanı için izin verilen sınırının altına düşürmede ve düşük frekanslı gürültüyü yeterince azaltmada başarısız olduğu görülmüştür [26]. Wang ve Luo hız ve türe göre sınıflandırılan çok sayıda aracın gürültü emisyonlarını ölçmüş, farklı frekansların bariyerin gürültü azaltımı üzerindeki etkisini analiz etmişlerdir. Çalışma kapsamında kaynağın yerden 0,8 m yüksekte, bariyere 4 m mesafede bulunduğu, alıcının ise yerden 1,1 m yüksekte ve 4 m mesafede bulunduğu bir düzenek kurulmuştur. Sonuçlar, yüksek hızlı ve hafif taşıt oranı büyük olan bir yolda gürültü bariyerinin oluşturulmasının daha verimli olacağını göstermiştir [27]. Yol (gürültü kaynağı) ve alıcı ile ilgili bariyer yerleşimi kritik öneme sahiptir. Bariyer, gürültü kaynağına veya alıcıya mümkün olduğu kadar yakın yerleştirilirse optimum gürültü azaltma etkisi elde edilir, çünkü bu, yol uzunluğu farkını en üst düzeye çıkarır [28]. Yapılan araştırmaların değerlendirilmesi neticesinde, bu çalışmada bariyerin karayolu emniyet şeridinde 1 m mesafede konumlandırılacağı kabulü yapılmıştır. "Karayolları Kenarında Yapılacak ve Açılacak



Şekil 3. Akış şeması (Flow chart)

Tesisler Hakkında Yönetmelik”e göre meskenlerde cephe hattı ile karayolu sınır hattı arasında en az 5 metre bırakılması gerektiği belirtilmektedir [29]. Tüm bu bilgiler ışığında, gürültü haritaları kapsamında coğrafi veri tabanına işlenmiş tüm bina katmanları dikkate alınarak bariyerin konumlandırılabilmesi kesitler içerisinde binalara en az 10 m mesafesi bulunan kesitler seçilmiştir. Böylece fiziki koşulların bariyer yapımına uygun olduğu olası bariyer kesitleri belirlenmiştir.

### 2.3.2. Bariyer uygulanabilecek öncelikli alanların belirlenmesi (Determination of priority areas where barriers can be applied)

Bariyer uygulanabilecek öncelikli alanlar belirlenirken, stratejik gürültü haritaları kapsamında modelleme alanında yer alan bina cephelelerinde her bir referans zaman dilimi için hesaplanan gürültü düzeylerinden yararlanılmıştır. Gürültü denetiminde sıcak nokta analizlerinde kullanılan PEL göstergesi (Population Exceedances and Levels) tüm pilot alanlardaki sorunlu alanları ortak bir değişken ile değerlendirmek için bir gürültü skoru sağlamaktadır. Çalışmada faydalanılan PEL göstergesi hesaplama adımları ve bu adımlarda kullanılan tüm bileşenler aşağıda açıklanmaktadır.

- Karayolu gürültü kaynağı için referans zaman diliminde [ $L_{gündüz}$  (07:00-19:00),  $L_{akşam}$  (19:00-23:00),  $L_{gece}$  (23:00-07:00)] maksimum aşım miktarı (M) hesaplanır. Bu değer, her bir alıcı (bina) cephesinde, her bir referans zaman dilimi için hesaplanan gürültü düzeyi ile o zaman dilimi için yönetmelikte belirtilen sınır değerler arasında en büyük olanıdır (ÇGDYY’de karayolu çevresel gürültü sınır değerleri gündüz, akşam ve gece zaman dilimleri için sırası ile 68, 63 ve 58 dBA’dır.) [13].
- Hesaplanan maksimum aşım değeri ile binada yaşayan konut sakini sayısı ve bina cephesine bir kaynaktan gelen  $L_{gag}$  (A ağırlıklı uzun dönem ses seviyesinin enerji ortalaması olup, günlük toplam rahatsızlığı ifade etmekte kullanılan etkilenim seviyesi) gürültü seviyesi çarpılarak PEL göstergesi elde edilir. PEL göstergesi, lineer olması itibarı ile sadece rahatsızlığın kaynağını ve etkilenen binaları kapsayan alanları belirlemeyi amaçlamaktadır [30].

Bu çalışmada, hesaplanan PEL değerleri büyüklük sıralamasına göre dizilmiş, sıralamada tüm değerlerin %10’una karşılık gelen en yüksek PEL değerlerine sahip binalar seçilmiştir. Öncelikli alanlar belirlenirken PEL yaklaşımı ile belirlenen binalara ilave olarak, hassas yapılardan hastane ve okul binalarına gelen ses düzeyleri de incelenmiştir. Bu binalardan sınır değerleri aşan seviyelerde gürültüye maruz kalanları tespit edilmiştir. Böylece çalışma alanlarındaki karayolu gürültüsünden en çok etkilenen öncelikli alanlar belirlenmiştir. Belirlenen öncelikli alanlar ile 2.3.1 başlığında bahsedilen fiziki koşullara göre bariyer yapımına uygun karayolu kesitleri kesleştirilmiş ve olası bariyer lokasyonları tespit edilmiştir.

### 2.3.3. Bariyerin uzunluğu (Length of barrier)

Genel bir kural olarak, bariyer alıcının etrafına 160°’den fazla yayıldığında, bariyerin dikey kenarlarından gelen kırımlar göz ardı edilebilir. Alan yetersizliğinden dolayı böyle bir uzunluk mümkün değilse, bu yayılımı 160°’de tutmak için bariyerin başlangıcı ve sonu bükülebilir [25]. Avşar ve Gönüllü, gürültü kaynağı (karayolu) ile alıcı (okul) arasında farklı türde gürültü bariyerleri olması durumunda okul ile karayolu arasında olası bir mesafe standardizasyonu için bir çalışma yapmıştır. Yapılan çalışmalar, bariyerin çok kısa olması durumunda karayolu gürültüsünün bariyerin bir ucundan geçebileceğini ve alıcıya ulaşabileceğini göstermiştir. Bariyerin yeterince uzun olmasını sağlamak için temel bir kural, alıcıdan bariyere olan mesafenin her yönde dört katı kadar mesafeye bariyerin uzaması olduğu ifade edilmiştir. Diğer seçenekler ve kombinasyonların, toplam gürültü azaltma potansiyelini artırdığı da

çalışmada belirtilmiştir [31]. 2.3.2 başlığında tespit edilen olası bariyer lokasyonları arasında kesintisiz olarak minimum 200 m uzunlukta olan kesitler seçilmiş ve karayollarında gürültü bariyer sistemleri uygulanabilir potansiyel kesitler belirlenmiştir.

### 2.3.4. Bariyerin yüksekliği (Height of barrier)

Bir gürültü bariyerinin etkili olabilmesi için yeterince yüksek ve yol görüşünü engelleyecek kadar uzun olmalıdır [24]. Gürültü azaltıcı tedbirler çok katlı binalardakiler de dahil olmak üzere, etkilenen tüm konutlar dikkate alınarak tasarlanmalıdır. Genel olarak, bariyer ne kadar yüksek olursa, gürültü azaltma seviyesi de o kadar yüksek olur. Çok şeritli yollarda, en uzak trafik şeritlerinden gelen gürültü, farklı yol açarındaki yakın şeritlerden gelen gürültü kadar azalmayacaktır [32]. Washington Eyaleti Ulaştırma Departmanı (WSDOT) çoğu zaman genellikle yüksekliği 1,8 ila 6 m arasında değişen, betondan yapılmış gürültü duvarları inşa etmektedir [24]. Gürültü modellemesinde kullanılan SoundPLAN yazılımı aracılığıyla, karayolları boyunca gürültü bariyerlerinin şekli optimize edilebilir, böylece alıcıda algılanan gürültünün azaltımı için ekonomik değerlendirme yapıp asgari maliyet belirlenebilir. Bir gürültü bariyerinin en az maliyetle bir veya daha fazla alıcıdaki gürültü seviyesini azaltacak şekilde tasarlanması gerekmektedir. En uygun panel elemanı seçilip, gürültü seviyesi tüm alıcılar için hesaplanabilmektedir. Bu sayede gürültü bariyeri seçiminde optimizasyon için, en düşük maliyetli ve/veya en az yüzey alanına sahip panel malzemesi seçilebilmektedir. Yazılım kullanılarak 2 ve/veya 3 boyutlu görselleştirme ile gürültü bariyer sistemi tasarlanabilmektedir [33]. Mevcut çalışmada bariyer yüksekliği 4 m olarak kabul edilmiş ve 20 il için belirlenen bariyer sistemleri uygulanabilir potansiyel kesitlerin uzunluğu ile çarpılarak toplam yüzey alanı hesaplanmıştır.

## 3. Sonuçlar ve Tartışmalar (Results and Discussions)

### 3.1. Karayolu Gürültüsü Sınır Aşım Değerlendirmeleri (Road Traffic Noise Exceedance Assessments)

Çalışma kapsamında yer alan karayollarının etki alanındaki değerlendirme için, ÇGDYY’de karayollarına yönelik verilen sınır değerler kullanılmıştır [13]. Yapılan değerlendirmeler sonucunda 20 il için sınır değerlerin aşıldığı alanlardaki konut sayısı, konut sakini sayısı, okul sayısı ve hastane sayısı belirlenmiştir. Çalışma alanlarında gündüz, akşam ve gece için verilen sınır değer aşım hesaplama sonuçları Tablo 2’te verilmektedir.

Hesaplama sonuçlarına göre gündüz zaman diliminde sınır değerlerin üzerinde gürültüye maruz kalan nüfusun toplam nüfusa oranının en yüksek olduğu (%8) iller Yalova, Aksaray, Çanakkale ve Kars olarak tespit edilmiştir. Akşam ve gece zaman dilimlerinde ise bu oranın en yüksek olduğu iller, sırası ile %15 oranı ile Aksaray ve %13 oranı ile Yalova olmuştur.

Gürültü maruziyetinin yüksek olduğu öncelikli alanların tespiti için PEL yaklaşımı ile belirlenen binalara ve hassas yapılardan hastane ve okul binalarına gelen ses düzeyleri incelenmiştir.

### 3.2. Bariyer Sistemleri İçin Belirlenmiş Kesitlerin Sunumu (Presentation of Designated Sections for Barrier Systems)

Bariyer yapımına en uygun karayolu kesitleri belirlenirken, karayolu kaynağı ile alıcı binalar arasında sesin mesafeye bağlı değişimi de değerlendirilmiştir. Wang ve Luo tarafından gürültü bariyerinin önünde ve arkasında ses basınç seviyesi verilerini toplamak için 3,4 m yüksekliğindeki bir bariyerde ses geçiş kaybı deneyi yapılmıştır. Bu deneyde kaynak yerden 0,8 m, alıcı ise 1,1 m yükseklikte konumlandırılmıştır [27]. ABD Ulaştırma Bakanlığı Federal Karayolu

İdaresi (FHWA) tarafından, farklı araç türleri için karayolu orta çizgisine göre farklı mesafelerde bulunan alıcılara için bariyer hesaplamaları yapılmıştır. Bu kapsamda otomobillerin, orta boy taşıtların ve ağır taşıtların karayolu orta çizgisinden sırası 0 m, 0,7 m ve 2,44 m uzağında alıcılara bulunduğu varsayılarak hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Yine aynı çalışmada, 1,5 m ve 2 m yükseklikte bulunan alıcılara için teorik ses geçiş kayıpları hesaplanmıştır [34].

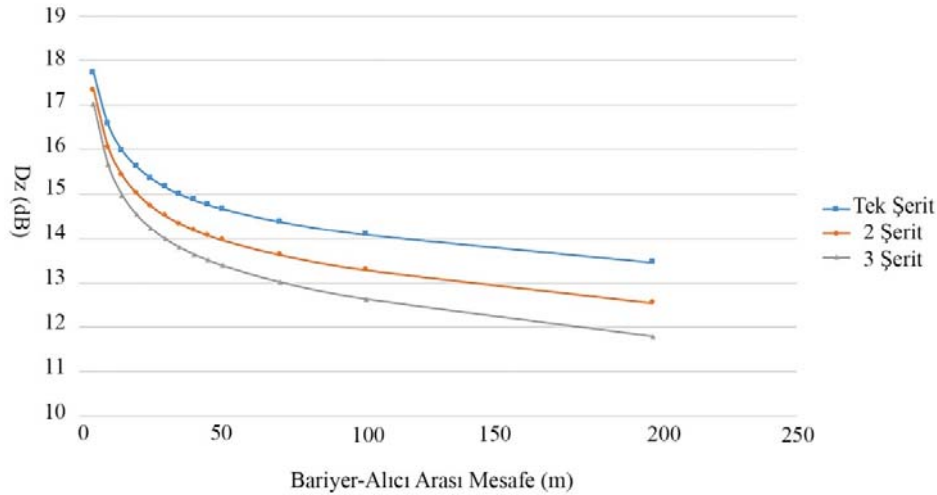
Bu çalışma kapsamında Eş. 1, Eş. 2, Eş. 3 ve Eş. 4 doğrultusunda bariyere uzaklıkları ise sırasıyla 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 70, 100 ve 200 m olan alıcılara için gürültü engeli sonrası gürültü azaltımı hesaplanmıştır. Hesaplamalarda 1, 2 ve 3 şeritli yol kenarlarında uygulanacağı varsayılan bir bariyerin kaynağa uzaklığı sırası ile 3, 5, 7 m ve kaynağın yüksekliği 0,7 m olduğu kabulü

yapılmıştır. Ayrıca, 4 m sabit bariyer yüksekliği ile yapılan hesaplamalarda, bariyere yakın alıcı noktalarının yükseklikleri 2 m olarak kabul edilmiştir. Farklı mesafelerde tanımlanan alıcı noktalarda 500 Hz için hesaplanan azalma ( $D_z$ ) değeri Şekil 4'te gösterilmiştir.

Bir bariyerin kaynağa en yakın konumunda bulunan alıcıların çoğunda en az 5 dBA'lık bir azalma sağlanması genel kabul görmüş bir kriterdir [24]. Şekil 4'ten gürültü bariyerinin yatayda 200 m'de dahi 12 dB azaltım sağladığı, 100 m'den sonraki alıcılarda etkinliğinin azaldığı görülmektedir. Bu sebeple, fiziki açıdan bariyer yapımının uygun olduğu kesitlerden, maksimum 100 m yakınında gürültüye maruz kalan binaların bulunduğu kesitler nihai olarak seçilmiştir. Çalışma kapsamında 20 il ve bu illerdeki 24 ilçe için bariyer yapımının uygunluğu, fiziki koşullar ve gürültü maruziyeti açısından

**Tablo 2.** Potansiyel bariyer uygulama kesiti belirlemede değerlendirilen karayolu gürültü sınırı aşım bilgileri (Road traffic noise limit exceedance evaluated in determining potential barrier application sections)

Yerleşim Alanı	Lgündüz > 68 dBA				Lakşam > 63 dBA				Lgece > 58 dBA			
	Konut	Okul	Hastane	Maruz kalan nüfus	Konut	Okul	Hastane	Maruz kalan nüfus	Konut	Okul	Hastane	Maruz kalan nüfus
Ağrı	600	13	5	3%	1.400	32	8	6%	1.700	21	11	7%
Aksaray	3.100	23	1	8%	6.800	61	15	15%	5.700	51	10	13%
Çanakkale	2.700	10	2	8%	4.100	22	6	12%	2.700	13	1	8%
Düzce	1.200	8	1	2%	2.400	24	1	5%	1.300	7	1	2%
Erzincan	700	4	3	3%	1.800	18	13	6%	2.000	22	7	6%
Giresun	2.400	3	1	6%	3.600	11	3	10%	3.300	7	2	9%
Isparta	3.100	4	0	6%	6.400	22	3	12%	5.500	16	1	11%
Kars	700	6	0	8%	1.200	19	0	11%	1.000	11	0	8%
Kastamonu	1.300	7	0	5%	2.400	22	1	10%	2.100	16	1	9%
Kırıkkale	1.300	0	5	4%	2.800	3	13	8%	1.700	2	8	5%
Kırklareli	3.200	6	3	6%	5.400	31	11	10%	4.400	16	3	8%
Kırşehir	1.200	4	1	4%	3.100	24	4	10%	2.200	8	3	7%
Nevşehir	2.100	6	2	7%	3.400	9	2	13%	2.100	5	2	7%
Niğde	800	5	2	4%	1.100	17	6	5%	1.000	4	1	5%
Osmaniye	3.600	13	1	5%	6.200	32	4	8%	6.700	34	3	9%
Siirt	1.500	6	0	6%	2.500	28	0	10%	2.500	23	0	10%
Şirnak	1.200	2	0	6%	2.300	11	0	11%	2.000	6	0	10%
Yalova	3.400	11	14	8%	5.400	22	16	13%	4.600	19	17	11%
Yozgat	300	5	0	2%	1.000	15	0	8%	400	8	0	3%
Zonguldak	2.000	13	0	3%	3.100	24	1	5%	2.300	16	0	4%



**Şekil 4.** Gürültü bariyeri sonrası mesafeye bağlı azalma ( $D_z$ ) değeri (Decrease ( $D_z$ ) value depending on the distance after the noise barrier)



değerlendirilmiştir. Isparta ili için yapılan analizlerle belirlenen bariyer sistemlerinin uygulanabileceği örnek potansiyel karayolu kesiti Şekil 5'te gösterilmektedir. Şekilden görüldüğü üzere, PEL değeri ilk %10'luk dilime giren bazı binaların (şekilde en koyu renk ile temsil edilmiştir), kenarında bulunduğu karayolu sınırına 10 m mesafeden daha yakın konumda bulunması nedeniyle söz konusu

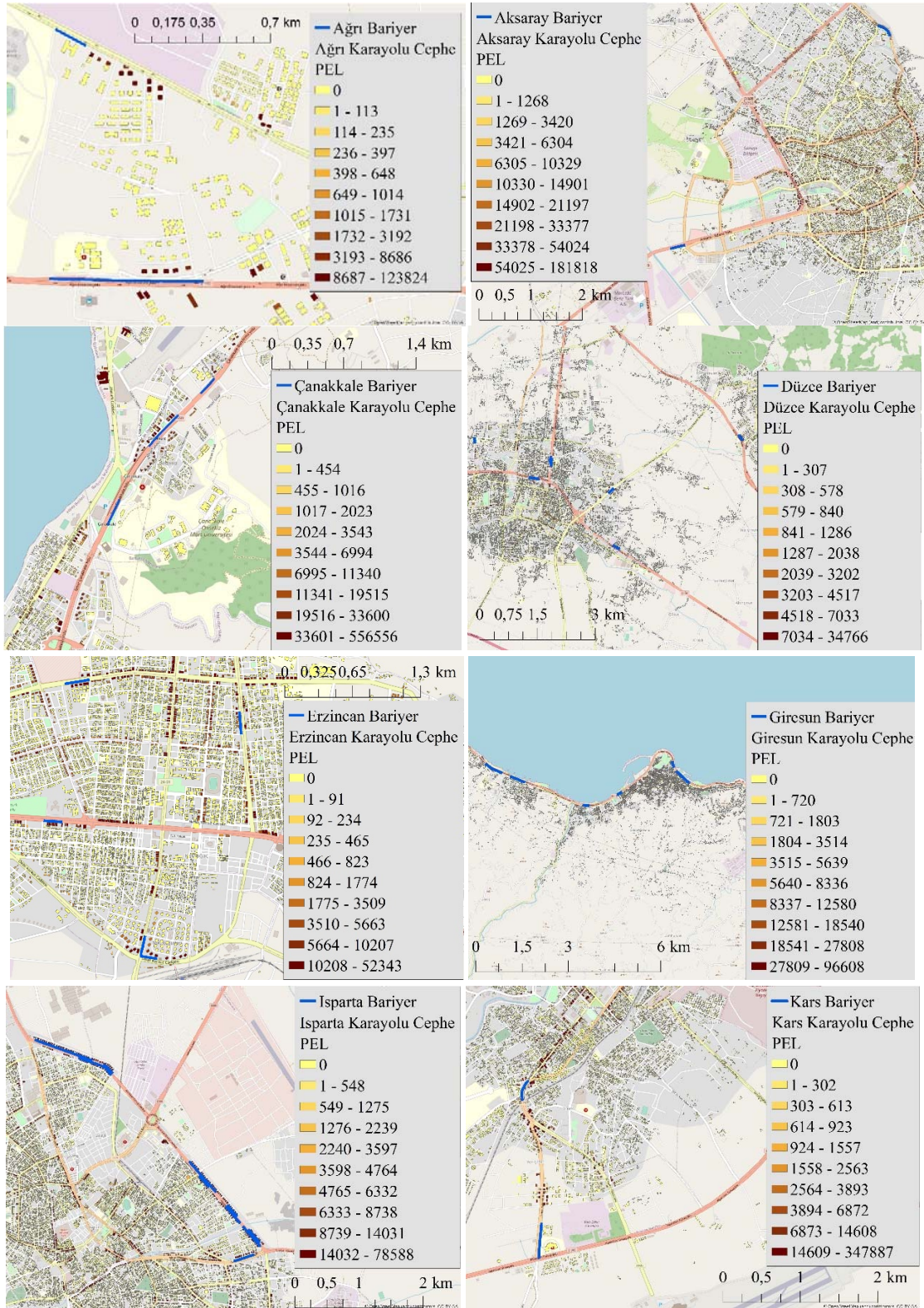
kesite bariyer uygulanamayacağı ortaya çıkmıştır. Bariyer sistemleri uygulanabilir potansiyel kesitlerin uzunlukları ve yüzey alanı ile bu sistemlerin uygulanacağı toplam karayolu uzunlukları hesaplanmış, Tablo 3'te sayısal olarak, ayrıca Şekil 6, Şekil 7 ve Şekil 8'de görsel olarak sunulmuştur. Potansiyel bariyer lokasyonlarının bazı karayollarında yolun her iki tarafına da uygulanması sebebi ile tabloda



Şekil 5. Isparta ili için belirlenen bariyer sistemleri uygulanabilir potansiyel kesitlerden birkaçı  
(A few of the potential sections of the noise barrier determined for the province of Isparta)

Tablo 3. Belirlenen potansiyel bariyer uygulama kesiti bilgileri (Determined potential barrier application section informations)

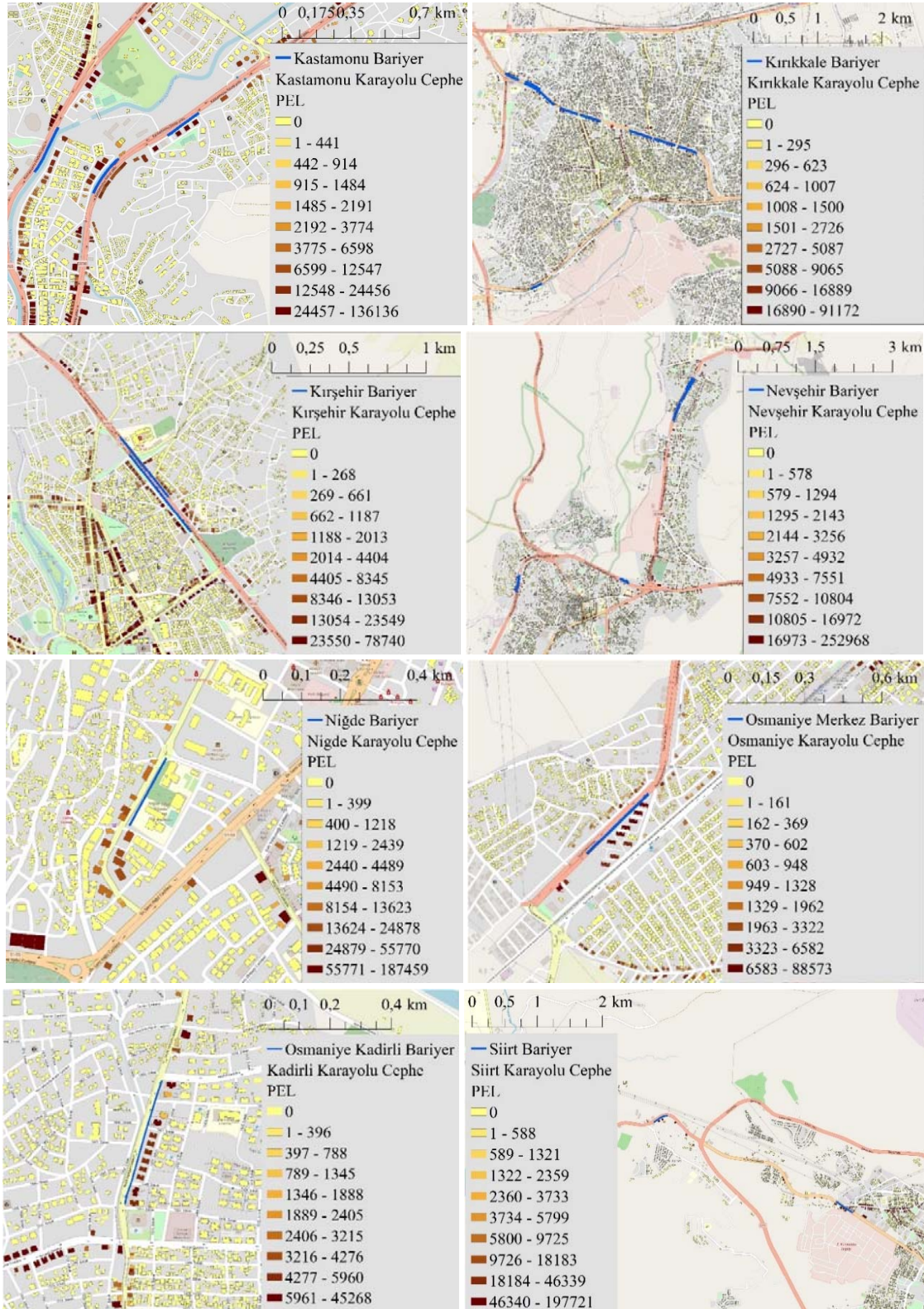
İl	İlçe	Ana Karayolu (m)	Bariyer / Toplam Ana Karayolu %	Bariyer (m)	Bariyer (m <sup>2</sup> )
Ağrı	Merkez	981	3%	981	3.924
Aksaray	Merkez	641	1%	641	2.563
Çanakkale	Merkez	900	1%	900	3.600
Düzce	Merkez	1.281	4%	1.481	5.923
Erzincan	Merkez	785	3%	785	3.139
Giresun	Merkez	2.403	15%	2.403	9.611
Isparta	Merkez	3.164	6%	4.343	17.371
Kars	Merkez	700	9%	700	2.800
Kastamonu	Merkez	680	3%	680	2.721
Kırıkkale	Merkez	2.720	8%	2.980	11.920
Kırklareli	Merkez	0	0%	0	0
Kırklareli	Lüleburgaz	0	0%	0	0
Kırşehir	Merkez	640	3%	1.140	4.560
Nevşehir	Merkez	1.460	5%	1.740	6.959
Niğde	Merkez	201	1%	201	804
Osmaniye	Merkez	336	2%	336	1.344
Osmaniye	Kadirli	420	2%	420	1.682
Siirt	Merkez	551	6%	551	2.203
Şırnak	Merkez	0	0%	0	0
Şırnak	Cizre	441	3%	441	1.763
Yalova	Merkez	2.338	11%	2.338	9.352
Yozgat	Merkez	1.835	10%	2.155	8.620
Zonguldak	Merkez	801	4%	801	3.203
Zonguldak	Ereğli	640	3%	640	2.560
<b>Toplam</b>		<b>23.916</b>		<b>26.655</b>	<b>106.622</b>



Şekil 6. Ağrı, Aksaray, Çanakkale, Düzce, Erzincan, Giresun, Isparta, Kars illerinde belirlenen kesitler  
(Sections determined in Agri, Aksaray, Canakkale, Duzce, Erzincan, Giresun, Isparta, Kars)

verilen bazı karayolu kesitlerinin toplam uzunluğunun toplam bariyer uzunluğundan düşük olduğu görülmektedir. Modellenen 620 km ana karayolunun yaklaşık 24 km'sine, 26,7 km uzunluğunda, 4 m

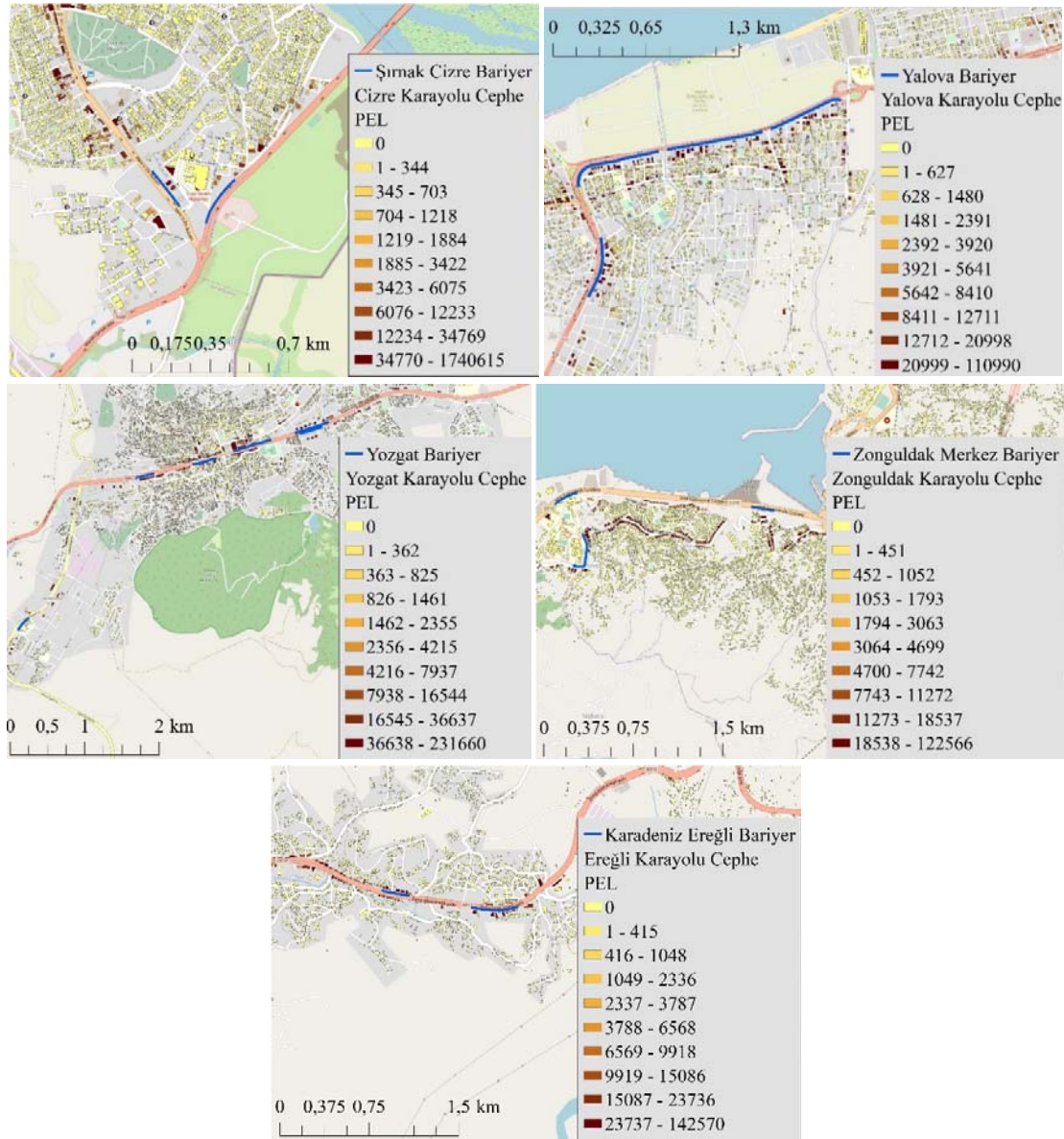
yükseğinde ve 106.662 m<sup>2</sup> yüzey alanına sahip gürültü bariyeri uygulanabileceği tespit edilmiştir. Hesaplama sonuçları değerlendirildiğinde, 20 il içerisinde, modellenen ana karayolları



Şekil 7. Kastamonu, Kırıkkale, Kırşehir, Nevşehir, Niğde, Osmaniye Merkez, Osmaniye Kadırlı, Siirt illerinde belirlenen kesitler (Sections determined in Kastamonu, Kirikkale, Kirsehir, Nevsehir, Nigde, Osmaniye Merkez, Osmaniye Kadırlı, Siirt)

arasından en yüksek oranda bariyer uygulanabilir kesit tespit edilen iller Giresun, Yalova, Yozgat, Kars ve Kırıkkale olmuştur. Bu iller içerisinde Kars ve Yalova gündüz zaman diliminde gürültüye maruz

kalan nüfusun toplam nüfusa oranının en yüksek olduğu (%8) illerden ikisidir. Giresun, Yozgat ve Kırıkkale illerinde ise fiziki koşulların gürültü bariyeri yapımına daha uygun olduğu karayolu kesitlerinin



**Şekil 8.** Şırnak Cizre, Yalova, Yozgat, Zonguldak Merkez, Zonguldak Karadeniz Ereğli illerinde belirlenen kesitler (Sections determined in Şırnak Cizre, Yalova, Yozgat, Zonguldak Merkez, Zonguldak Karadeniz Ereğli)

bulunduğu sonucu çıkarılabilir. Yapılan hesaplamalarda Şırnak Merkez ve Kırklareli illerinde ise bu çalışma kapsamında uygulanan kriterler çerçevesinde gürültü bariyeri uygulanabilecek kesitlerin mevcut olmadığı görülmektedir. Bu sonuçlar bu illerde gürültü bariyerinin uygulanamayacağı anlamı taşımamaktadır. Bu çalışma kapsamında yapılan değerlendirmelerde belirlenen sınır şartlarını sağlayan bir bariyer lokasyonu belirlenemediğini ifade etmektedir. Bu nedenle çalışılan tüm şehirler kendi dinamikleri kapsamında gürültü bariyerlerinin uygulanabilirliği açısından ayrıca değerlendirilebilir.

#### 4. Sonuçlar (Conclusions)

Karayolu ulaşımından kaynaklanan çevre gürültüsünün önlenmesi doğrudan yolun konumuna ve yapısına bağlı olması sebebiyle, karayollarını planlama aşamasında gerekli önlemlerin belirlenerek uygulanması ve benzer şekilde en uygun güzergahın seçilmesi en ekonomik çözümler olacaktır. Bununla birlikte, karayolu planlama aşamasında bu yaklaşımın sergilenmemesi durumunda sonradan

alınacak önlemlerin daha büyük harcamalar gerektirdiği, buna karşın başlangıçta alınacak önlemler kadar etkili sonuçlar vermediği görülmektedir. Ancak, ülkemiz koşullarında mevcut durum için gürültü kontrol yöntemleri irdelendiğinde, karayolları için kaynakta alınabilecek önlemlerin sınırlı olması, gürültünün yayılım yolunda tedbir almayı gerektirebilmektedir. Karayolu gürültüsünü yayılım yolunda kontrol altına alabilmek için konuma özel tasarlanan gürültü bariyer sistemleri kullanılabilir. Karayolları için gürültü bariyer sistemlerinin uygulama konumları ve boyutları belirlenirken birçok kriter göz önünde bulundurulmaktadır. Karayollarından kaynaklı gürültünün dağılımını tespit için seçilen yolun bulunduğu bölgenin topoğrafik özellikleri, karayolunun yol kaplama malzemesi, yoldan geçen tasnifli taşıt sayıları vb. girdiler kullanılarak modelleme yapılabilmektedir. Söz konusu modellemeler ile karayolu stratejik gürültü haritası oluşturulabilmektedir. Bu çalışmada 20 ilimizin stratejik gürültü haritası hazırlanan karayollarında gürültü bariyeri uygulanabilir potansiyel kesitler belirlenmiştir. Bariyer uygulanabilecek öncelikli alanlar belirlenirken, stratejik gürültü

haritaları kapsamında modelleme alanında yer alan bina cephelerinde her bir referans zaman dilimi için hesaplanan gürültü düzeylerinden sınır değerleri aşan seviyelerde gürültüye maruz kalanları tespit edilmiş, çalışma alanlarındaki karayolu gürültüsünden en çok etkilenen öncelikli alanlar belirlenmiştir. Diğer yandan, çeşitli teorik hesaplamalar ve literatürden edinilen bilgiler doğrultusunda bariyerin konumu ve uzunluğu için kabuller yapılmıştır. 20 ilde yapılan modelleme sonuçlarından yararlanılarak belirlenen öncelikli alanlar ile fiziki koşullar açısından bariyer yapımına uygun karayolu kesitleri kesleştirilmiş, toplam 620 km ana karayolunun yaklaşık %3,9'una 106.662 m<sup>2</sup> yüzey alanına sahip gürültü bariyeri uygulanabileceği tespit edilmiştir. Çalışma kapsamındaki değerlendirmeler 2010 yılında yayınlanmış ÇGDYY'ne göre yapılmış olup, 30 Kasım 2022 tarihinde yönetmelik güncellenerek "Çevresel Gürültü Kontrol Yönetmeliği" ismi ile resmi gazetede yayınlanmıştır.

Hesaplama sonuçları değerlendirildiğinde, 20 il içerisinde, modellenen ana karayolları arasından en yüksek oranda bariyer uygulanabilir kesit tespit edilen iller Giresun, Yalova, Yozgat, Kars ve Kırıkkale olmuştur. Bu iller içerisinde Kars ve Yalova gündüz zaman diliminde gürültüye maruz kalan nüfusun toplam nüfusa oranının en yüksek olduğu (%8) illerden ikisidir. Giresun, Yozgat ve Kırıkkale ise fiziki koşulların gürültü bariyeri yapımına daha uygun olduğu karayolu kesitlerinin bulunduğu illerdir. Gürültü bariyeri kesitlerinin uygulanabilirliğinin nihai değerlendirilmesi amacıyla bariyer uygulaması sonrası oluşacak maruziyetlerin de tespit edilmesi gerekmektedir. Yerleşim alanlarında çevresel gürültünün kontrolü ya da azaltılması çözümleri stratejik gürültü eylem planları çerçevesinde değerlendirilmektedir. Belirlenmiş kesitlerde gürültü bariyeri uygulamasının etkisinin yarattığı azalma hesaplanarak, bariyerin etkinliği ortaya koyulabilmektedir. Bariyer uygulamaları ile ilgili olarak elde edilen sonuçlar ve bariyer maliyetleri bir arada değerlendirilerek nihai karar verilebilmektedir.

Belirlenen potansiyel karayolu kesitlerinde uygulama öncesi güncel gürültü seviyesi analiz edilerek güncel koşullara göre bariyer tasarımı yapılmalıdır. Bariyer sistemlerinin uygulama öncesi akustik projelerinin yanı sıra statik projelerinin de hazırlanması gerekmektedir. Statik projelendirme sürecinde zemin etüt bilgileri de değerlendirilmelidir. Bariyerlerin akustik performansının istenen azaltım değerini karşılaması için tasarımda iletim kaybını azaltacak herhangi bir açıklık veya boşluk olmamasına dikkat edilmelidir. Panel malzemesi ile taşıyıcı/bağlayıcı dikey ve yatay profillerden oluşabilen yapının bütünlüğünün bozulmaması da gözetilerek tasarım yapılmalıdır. Potansiyel kesitler belirlenirken bariyer uygulama alanında yer alabilecek aydınlatma, doğalgaz vb. altyapı hatları ile uyumluluğu kontrol edilmelidir. Kent içi karayolu kesitlerinin yakınında yer alabilecek binalarla arasında doğal/yeterli havalandırma boşluğu olması göz önünde bulundurulmalıdır. Benzer şekilde özellikle zemin kotuna yakın binaların gün ışığını engellememesi durumu da estetik kabul edilebilirlik koşulları ile birlikte değerlendirilmelidir. Güvenlik açısından çarpma durumunda tehlikeli parçalanmalar neden olmayacak nitelikte panel malzemelerinden oluşmalı, acil durum erişimini engellemeyecek ve trafik akışı için güvenli olacak şekilde tasarlanmalıdır.

#### Teşekkür (Acknowledgement)

Yazarlar bu makaleye konu olan çalışmanın yapılması için verilen destekten dolayı Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı ile TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi'ne teşekkür eder.

#### Kaynaklar (References)

1. Nelson P., Transportation Noise Reference Book, Butterworth-Heinemann, United Kingdom, 1987.

2. Verband der Automobilindustrie (VDA), Urban Traffic and Noise, Germany, 1978.
3. Berry B., LAeq and subjective reaction to different noise sources: review of research, Proceedings of Inter-Noise 83 (2), Edinburgh-SCOTLAND, 1983.
4. Cooper P.J., et al., Heathrow International Airport study-Technical Report, Institute of Sound and Vibration Research, Southampton University, 1983.
5. Izumi K., On the measurement of annoyance in the laboratory, Muroran Institute of Technology, H-86-35 N. 85-10-2. 1986.
6. Kryter K.D., The Effect of Noise on Man, Academic Press, New York, USA, 1985.
7. Fyhri A., Aasvang G.M., Noise, sleep and poor health: Modeling the relationship between road traffic noise and cardiovascular problems, Science of the Total Environment, 408 (21), 4935-4942, 2010.
8. TCDD, T.C. Devlet Demiryolları Genel Müdürlüğü 2015-2019 Stratejik Planı, Türkiye, 2014.
9. EEA, Environmental noise in Europe — European Environment Agency 2020 EEA Report No 22/2019. <https://www.eea.europa.eu/publications/environmental-noise-in-europe>. Yayın Tarihi: 2020, Erişim Tarihi: 28.01.2022
10. EC. European Commission Green Paper - Future Noise Policy. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:51996DC0540&from=PT>. Yayın Tarihi: 1996, Erişim Tarihi: 04.02.2022
11. STAIRRS, Strategies and Tools to Assess and Implement Noise Reducing measures for Railway Systems EU Project Final Report, 2002.
12. The European Parliament and of the Council: Official Journal of the European Communities, END DIRECTIVE 2002/49/EC - Relating to the assessment and management of environmental noise, 12-25, 2002.
13. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği (ÇGDYY), Resmi Gazete – 27601, 2010.
14. Johnson D.R.,Saunders E.G., The evaluation of noise from freely flowing road traffic, Journal of Sound and Vibration, 7 (2), 287-309, 1968.
15. U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration (FHWA), Highway Noise Barrier Design Handbook,, Virginia, USA, 2000.
16. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Çevresel Gürültü Kontrol Yönetmeliği (ÇGKY), 2022, T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı: Resmi Gazete - 32029.
17. FWA, The handbook of highway engineering, CRC press, USA, 2005.
18. Kurra S., Dal L., Sound insulation design by using noise maps, Building and Environment, 49, 291-303, 2012.
19. NMPB, NMPB-Routes-96 (SETRA-CERTU-LCPC,CSTB), New french calculation method including meteorological effects,France, 1996.
20. Centre D'etudes Des Transports Urbains.(CETUR), Guide du bruit des transports terrestres, France, 1980.
21. U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration (FHWA), Noise Barrier Design Handbook FWHA-RD-76-58, Virginia, USA, 1977.
22. TS-ISO-9613-2, Akustik - Sesin dışarıda yayılırken azalması - Bölüm 2: Genel hesaplama yöntemi, Türkiye, 2006.
23. Klingner R.E., McNeerney M.T.,Busch-Vishniac I., Design Guide for Highway Noise Barriers. [https://ctr.utexas.edu/wp-content/uploads/pubs/0\\_1471\\_4.pdf](https://ctr.utexas.edu/wp-content/uploads/pubs/0_1471_4.pdf). Yayın Tarihi: 2003, Erişim Tarihi: 05.01.2022
24. WSDOT. Noise walls & barriers. <https://wsdot.wa.gov/construction-planning/protecting-environment/noise-walls-barriers>. Yayın Tarihi: 2022, Erişim Tarihi: 05.01.2022
25. Pigasse G., Kragh J., Optimised noise barriers a state-of-the-art report [https://www.vejdirektoratet.dk/api/drupal/sites/default/files/publications/optimised\\_noise\\_barriers.pdf](https://www.vejdirektoratet.dk/api/drupal/sites/default/files/publications/optimised_noise_barriers.pdf). Yayın Tarihi: 2011, Erişim Tarihi: 05.01.2022
26. Haron Z., et al., A case study of acoustic efficiency of existing noise barrier in reducing road traffic noise in school area, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 220., 012046, 2019.
27. Wang H., Luo P., Cai M., Calculation of Noise Barrier Insertion Loss Based on Varied Vehicle Frequencies, Applied Sciences, 8 (1), 2018.
28. Murphy, E., King E.A., Chapter 7 - Noise Mitigation Approaches, in Environmental Noise Pollution, E. Murphy and E.A. King, Editors, Elsevier, 203-245, Boston., 2014.

29. KKYATHY, Karayolları Kenarında Yapılacak ve Açılacak Tesisler Hakkında Yönetmelik, TBMM, Editor, 22990 sayılı Remi Gazete, 1997.
30. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Çıktı 7.2 Sorunlu Alanların Tanımlanması in Çevresel Gürültü Direktifini Uygulama Kapasitesi için Teknik Yardım Projesi (EuropeAid/131352/D/SER/TR). 2015,
31. Avsar Y.,Gonullu M.T., Determination of safe distance between roadway and school buildings to get acceptable school outdoor noise level by using noise barriers, Building and Environment, 40 (9), 1255-1260, 2005.
32. NSW, Noise wall design guideline : design guideline to improve the appearance of noise walls in NSW.  
<https://www.opengov.nsw.gov.au/publications/19403;jsessionid=5F3653783C861378908BBB43A357E80C>. Yayın Tarihi: 2021, Erişim Tarihi: 05.01.2022
33. SoundPLAN, SoundPLAN Kullanım Kılavuzu, Braunstein + Berndt GmbH. SoundPLAN International LLC, 2007.
34. U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration. Virginia (FHWA), FHWA Highway Traffic Noise Prediction Model, Virginia, USA, 1979.